



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년02월20일
 (11) 등록번호 10-1235291
 (24) 등록일자 2013년02월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
D01F 9/12 (2006.01) *D02G 3/02* (2006.01)
H01B 11/18 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2011-0011345
 (22) 출원일자 2011년02월09일
 심사청구일자 2011년02월09일
 (65) 공개번호 10-2011-0093666
 (43) 공개일자 2011년08월18일
 (30) 우선권주장
 1020100012084 2010년02월09일 대한민국(KR)
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020030022705 A*
 KR1020070027549 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
(주)브라이어스
 서울특별시 금천구 벚꽃로 254, 704호 (가산동, 월드메르디앙벤처센터)
 (72) 발명자
홍병희
 서울특별시 강남구 봉은사로72길 18, 202호 (삼성동)
김근수
 서울특별시 광진구 천호대로116길 100, B01호 (능동)
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 21 항

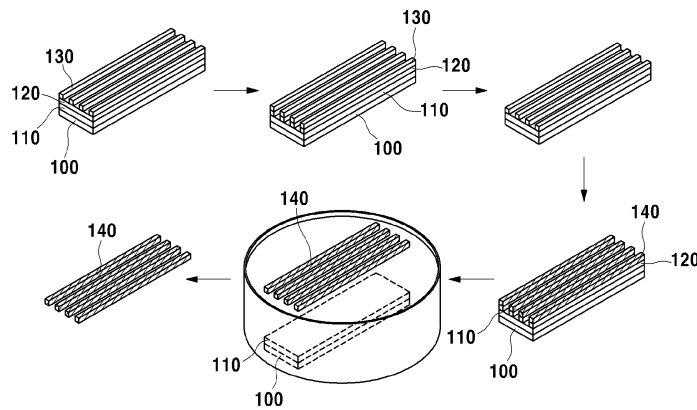
심사관 : 김정태

(54) 발명의 명칭 **그래핀 파이버, 이의 제조 방법 및 이의 용도**

(57) 요약

본원은 선형 패턴의 그래핀을 이용하여 형성되는 그래핀 파이버의 제조 방법, 이에 의해 제조된 그래핀 파이버 및 이의 용도에 관한 것으로서, 상기 그래핀 파이버는 전선 및 동축 케이블 등 다양한 분야에 적용 가능하다.

대표도 - 도1



(72) 발명자
김형근
경기도 화성시 팔탄면 고주골길 46

배수강
경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 성균관대학교
(천천동)

특허청구의 범위

청구항 1

기판 상에 복수의 선형 패턴을 포함하는 금속층을 형성하고;

상기 선형 패턴의 금속층 상에 탄소 소스를 포함하는 반응 가스 및 열을 제공하여 반응시킴으로써 선형 패턴의 그래핀을 형성하고;

상기 기판을 에칭 용액 내에 함침시켜 상기 선형 패턴의 금속층을 선택적으로 제거함으로써, 상기 기판으로부터 상기 선형 패턴의 그래핀을 분리하여 상기 에칭 용액 중에 복수의 선형 그래핀을 분산시키고; 및

상기 분산된 복수의 선형 그래핀을 상기 에칭 용액 외부로 끌어 당겨 그래핀 파이버(graphene fiber)를 형성하는 것;

을 포함하는, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 에칭 용액은 물, 에천트, 및 유기 용매를 포함하는 것인, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 에천트는 암모늄 퍼설페이트 $[(NH_4)_2S_2O_8]$, 산(acid), BOE, $Fe(NO_3)_3$, 염화철($FeCl_3$), $CuCl_2$ 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 화합물을 포함하는 것인, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 유기 용매는 친수성 기를 가짐으로써 상기 물과 혼합될 수 있는 것인, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 유기 용매는 상기 에칭 용액의 전체 용매 100 부피%에 대하여 20 부피% 이상인, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 그래핀 파이버는 상기 에칭 용액 중에 분산된 복수의 선형 그래핀을 상기 에칭 용액 외부로 끌어 당김과 동시에 회전시켜 꼬아서 형성되는 것인, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 금속층은 Ni, Co, Fe, Pt, Au, Al, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, Rh, Si, Ta, Ti, W, U, V, Zr, 황동(brass), 청동(bronze), 백동, 스테인레스 스틸(stainless steel) 및 Ge 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 금속 또는 합금을 포함하는 것인, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 선형 패턴의 금속층의 선폴은 1 nm 에서 100 nm 인, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 그래핀 파이버의 직경은 상기 선형 패턴의 금속층의 선폴에 따라 조절되는 것인, 그래핀 파이버의 제조 방법.

청구항 10

복수의 선형 그래핀이 연결되어 형성된 그래핀 파이버로서, 제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 따라 제조된 것인, 그래핀 파이버.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 그래핀 파이버는 절연성 물질을 포함하는 코어 상에 감겨져 있는 것인, 그래핀 파이버.

청구항 12

제 10 항에 따른 그래핀 파이버; 및

상기 그래핀 파이버를 둘러 감싸는 절연체;

를 포함하는, 그래핀 전선.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 그래핀 파이버는 절연성 물질을 포함하는 코어 상에 감겨져 있는 것인, 그래핀 전선.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 절연체는 에나멜, 포토레지스트 수지, PMMA[Poly(methyl methacrylate)], PET(Polyethylene Terephthalate), PVA(poly vinyl alcohol), PI(polyimide) 및 이들의 조합으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 그래핀 파이버.

청구항 15

그래핀을 포함하는 코어(core) 전도체;
상기 코어 전도체를 둘러싸는 절연체;
상기 절연체를 둘러싸는 외부 전도체; 및
상기 외부 전도체를 둘러싸는 외피부;
를 포함하고,
상기 그래핀은 제 10 항에 따른 그래핀 파이버를 포함하는 것인,
동축 케이블.

청구항 16

삭제

청구항 17

제 15 항에 있어서,
상기 코어 전도체는 금속 부재의 표면에 상기 그래핀이 형성된 것인, 동축 케이블.

청구항 18

제 17 항에 있어서,
상기 금속 부재는 금속관 또는 금속 와이어를 포함하는 것인, 동축 케이블.

청구항 19

제 17 항에 있어서,
상기 금속 부재 상에 형성된 상기 그래핀은 화학기상증착법에 의해 형성된 것인, 동축 케이블.

청구항 20

제 17 항에 있어서,
상기 금속 부재를 형성하는 금속은 Ni, Co, Fe, Pt, Au, Al, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, Rh, Si, Ta, Ti, W, U, V, Zr, 황동(brass), 청동(bronze), 백동, 스테인레스 스틸(stainless steel) 및 Ge 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 금속 또는 합금을 포함하는 것인, 동축 케이블.

청구항 21

제 17 항에 있어서,
상기 금속 부재 상에 상기 그래핀은 롤투롤 공정에 의하여 형성되는 것인, 동축 케이블.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 롤투를 공정은,

롤투를 방식에 의하여 제 1 롤러로부터 띠(band) 또는 선(line) 형태의 상기 금속 부재를 전처리부로 공급하여 표면 처리하는 단계;

상기 전처리부를 통과한 상기 띠(band) 또는 선(line) 형태의 금속 부재를 합성부로 이동시켜 상기 금속 부재 상에 그래핀을 합성과 동시에 코팅하는 단계; 및

상기 합성부를 통과한 상기 띠(band) 또는 선(line) 형태의 금속 부재를 롤투를 방식에 의하여 제 2 롤러에 감아 회수하는 단계;

를 포함하는 것인, 동축 케이블.

명세서

기술분야

[0001] 본원은 그래핀 파이버의 제조 방법, 이에 의해 제조된 그래핀 파이버 및 이의 용도에 관한 것으로, 선형 패턴의 그래핀을 이용하여 형성된 상기 그래핀 파이버는 전선 및 동축 케이블 등 다양한 분야에 적용 가능하다.

배경기술

[0002] 탄소 원자들로 구성된 저차원 나노물질로는 풀러렌(fullerene), 탄소나노튜브(Carbon Nanotube), 그래핀(graphene), 흑연(Graphite) 등이 존재한다. 즉, 탄소 원자들이 6각형 모양의 배열을 이루면서 공 모양이 되면 0 차원 구조인 풀러렌, 1 차원적으로 말하면 탄소나노튜브, 2 차원 상으로 원자 한 층으로 이루어지면 그래핀, 3 차원으로 쌓이면 흑연으로 구분을 할 수 있다. 이 중, 그래핀은 구조적/화학적으로 매우 안정할 뿐만 아니라 우수한 전도체로서, 원자 한 층의 두께를 가지면서 상대적으로 표면 결함이 적은 구조적 특성으로 인하여 탁월한 전도성을 보인다. 예를 들면, 그래핀은 실리콘보다 100 배 빠르게 전자를 이동시키고, 이론적으로는 구리보다 약 100 배 정도 많은 전류를 흐르게 할 수 있다.

[0003] 이러한 그래핀의 뛰어난 전기적 성질은 금속 전선을 대체할 수 있는 물질로써 주목받고 있다. 종래 주로 사용되던 구리 전선은 최근 중국을 비롯한 개발도상국의 비약적인 경제 발전과 전세계적인 정보통신 인프라 구축으로 인해 사용량이 급증하면서 구리 원자재의 가격이 상승했을 뿐만 아니라, 사용량 증가로 인하여 전 세계 구리의 매장량은 향후 25년 내지 60년 이내에 고갈될 것으로 예측된다. 따라서, 그래핀과 같이 금속 전선을 대체할 수 있는 물질에 대한 연구가 최근 집중적으로 이루어지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 이에, 본원은 화학기상증착법에 의해 선형 그래핀을 형성하고, 이를 이용하여 그래핀 파이버를 제조하는 방법을 제공하고자 한다. 또한, 상기 언급한 방법에 의해 형성되는 그래핀 파이버를 포함하며, 전기적 성질이 우수한 그래핀 전선 또는 동축케이블을 제공하고자 한다.

[0005] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 기술한 과제로 제한되지 않으며, 기술되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본원의 일 측면은, 기판 상에 복수의 선형 패턴을 포함하는 금속층을 형성하고; 상기 선형 패턴의 금속층 상에 탄소 소스를 포함하는 반응 가스 및 열을 제공하여 반응시킴으로써 선형 패턴의 그래핀을 형성하고; 상기 기판을 에칭 용액 내에 함침시켜 상기 선형 패턴의 금속층을 선택적으로 제거함으로써, 상기 기판으로부터 상기 선형 패턴의 그래핀을 분리하여 상기 에칭 용액 중에 복수의 선형 그래핀을 분산시키고; 및 상기 분산된 복수의 선형 그래핀을 상기 에칭 용액 외부로 끌어 당겨 그래핀 파이버(graphene fiber)를 형성하는 것: 을 포함하는, 그래핀 파이버의 제조 방법을 제공한다.

[0007] 본원의 다른 측면은, 상기 언급한 방법에 의해 제조된 복수의 선형 그래핀이 연결되어 형성된, 그래핀 파이버를

제공한다.

[0008] 본원의 또 다른 측면은, 본원에 따른 상기 그래핀 파이버; 및 상기 그래핀 파이버를 둘러 감싸는 절연체: 를 포함하는, 그래핀 전선을 제공한다.

[0009] 본원의 또 다른 측면은, 그래핀을 포함하는 코어(core) 전도체; 상기 코어 전도체를 둘러싸는 절연체; 상기 절연체를 둘러싸는 외부 전도체; 및, 상기 외부 전도체를 둘러싸는 외피부: 를 포함하는, 동축 케이블을 제공한다.

발명의 효과

[0010] 본원은 화학기상증착법에 의해 선형 그래핀을 형성하고 이를 이용하여 그래핀 파이버를 제조함으로써, 양질의 그래핀 파이버를 저비용으로 제조할 수 있다. 또한, 본원의 방법에 의해 제조된 그래핀 파이버는 금속 전선보다 매우 유연하고 가벼울 뿐만 아니라 전기 전도도 및 열전도도가 우수한 바, 상기 그래핀 파이버를 이용한 전선 및 동축케이블은 열 발생에 의한 손실을 최소화하여 전력 수송 효율 및 용량을 극대화할 수 있을 뿐만 아니라, 고주파에서도 뛰어난 신호 전달 효율을 보여준다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 본원의 일 구현예에 따른 선형 그래핀을 제조하는 과정을 개략적으로 도시한 순서도이다.
- 도 2는 본원의 일 구현예에 따른 연속적인 그래핀 파이버 제조 장치를 보여주는 개략도이다.
- 도 3은 본원의 일 실시예에 따라 제조된 그래핀 파이버를 이용하여 직조된 섬유를 보여주는 사진이다.
- 도 4는 본원의 일 실시예에 따른 그래핀 파이버의 전자현미경 사진이다.
- 도 5는 본원의 일 실시예에 따른 선형 그래핀의 선폭에 따른 그래핀 파이버의 지름을 보여 주는 그래프이다.
- 도 6은 본원의 일 구현예에 따른 다양한 형태의 그래핀 파이버 및 그래핀 전선을 나타낸 개략도이다.
- 도 7은 본원의 일 실시예에 따른 그래핀 파이버의 기계적 강도를 보여 주는 그래프이다.
- 도 8은 본원의 일 실시예에 따른 구리 전선 및 구리/그래핀 전선의 전기 전도도 특성을 비교한 결과를 보여 주는 그래프이다.
- 도 9는 본원의 일 구현예에 따른 그래핀 롤투롤 코팅 장치의 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다.

[0013] 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0014] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0015] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 "~(하는) 단계" 또는 "~의 단계"는 "~ 를 위한 단계"를 의미하지 않는다.

[0016] 본원 명세서 전체에서, "띠"라 함은, 너비가 좁고 길이가 긴 형상으로 이루어진 물체를 의미한다.

[0017] 본원의 일 측면에 따른 그래핀 파이버의 제조 방법은 기관 상에 복수의 선형 패턴을 포함하는 금속층을 형성하고; 상기 선형 패턴의 금속층 상에 탄소 소스를 포함하는 반응 가스 및 열을 제공하여 반응시킴으로써 선형 패턴의 그래핀을 형성하고; 상기 기관을 에칭 용액 내에 침적시켜 상기 선형 패턴의 금속층을 선택적으로 제거함

으로써, 상기 기관으로부터 상기 선형 그래핀을 분리하여 상기 에칭 용액 중에 복수의 선형 그래핀을 분산시키고; 상기 분산된 복수의 선형 그래핀을 상기 에칭 용액 외부로 끌어당겨 그래핀 파이버(graphene fiber)를 형성하는 것: 을 포함한다.

- [0018] 일 구현예에서, 상기 에칭 용액은 물, 에천트, 및 유기 용매를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지는 않는다. 예시적 구현예에서, 상기 에천트는 암모늄 퍼설페이트 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$, 산, BOE, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, 염화철(Iron(III) Chloride, FeCl_3), CuCl_2 , 산(acid) 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 화합물을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 다른 구현예에 있어서, 상기 산은 유기산 또는 무기산을 포함할 수 있으며, 예를 들어, HF와 같은 불소-함유 산을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예시적 구현예에서, 상기 유기 용매는 친수성을 가지는 것으로서 상기 친수성 기에 의하여 상기 물과 혼합될 수 있는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예시적 구현예에서, 상기 유기 용매는 상기 에칭 용액의 전체 용매 100 부피%에 대하여 20 부피% 이상일 수 있다.
- [0019] 또 다른 구현예에서, 상기 그래핀 파이버는 상기 에칭 용액 중에 분산된 복수의 선형 그래핀을 상기 에칭 용액 외부로 끌어 당김과 동시에 회전시켜 꼬아서 형성되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0020] 또 다른 구현예에서, 본원의 그래핀 파이버의 제조 방법은 상기 선형 패턴의 금속층 상에 상기 선형 패턴의 그래핀을 형성한 후, 이를 냉각시키는 공정을 추가 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0021] 또 다른 구현예에서, 상기 선형 패턴의 금속층 상에 형성된 선형 그래핀의 두께는 상기 반응 시간, 또는 상기 금속층의 두께, 상기 냉각의 속도 및 이들의 조합을 조절하여 제어되는 것일 수 있다.
- [0022] 또 다른 구현예에서, 상기 금속층은 Ni, Co, Fe, Pt, Au, Al, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, Rh, Si, Ta, Ti, W, U, V, Zr, 황동(brass), 청동(bronze), 백동, 스테인레스 스틸(stainless steel) 및 Ge 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 금속 또는 합금을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지는 않는다.
- [0023] 또 다른 구현예에서, 상기 선형 패턴의 금속층의 선폴은 약 1 nm 에서 약 100 nm 일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0024] 또 다른 구현예에서, 상기 그래핀 파이버의 직경은 상기 선형 패턴의 금속층의 선폴에 따라 조절되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0025] 본원의 다른 측면에 따른 그래핀 파이버는 상기 언급한 본원의 제조 방법에 의해 형성된 복수의 선형 그래핀이 연결되어 형성된 것을 포함한다.
- [0026] 일 구현예에 있어서, 상기 그래핀 파이버는 절연성 물질을 포함하는 코어 상에 감겨져 있는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 코어를 형성하는 절연성 물질은 당업계에서 통상적으로 사용할 수 있는 것이라면 특별히 제한없이 사용가능하며, 예를 들어, 절연성 폴리머를 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 절연성 물질을 포함하는 코어는 그래핀 파이버 형성을 위한 일종의 지지체 역할을 할 수 있으며, 상기 그래핀 파이버가 상기 절연성 물질을 포함하는 코어 상에 감겨져 있는 형태는 상기 그래핀 파이버 만으로 형성된 경우보다 기계적 강도 등의 특성이 향상될 수 있다.
- [0027] 본원의 또 다른 측면에 따른 그래핀 전선은, 본원에 따른 상기 그래핀 파이버 및 상기 그래핀 파이버를 둘러 감싸는 절연체를 포함한다.
- [0028] 일 구현예에서, 상기 절연체는 에나멜, 포토 레지스트 수지, PMMA[Poly(methyl methacrylate)], PET(Polyethylene Terephthalate), PVA(poly vinyl alcohol), PI(polyimide), PVDF (Polyvinylidene fluoride) 및 이들의 조합으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지는 않는다.
- [0029] 다른 구현예에 있어서, 상기 그래핀 파이버는 절연성 물질을 포함하는 코어 상에 감겨져 있는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 그래핀 파이버 및 상기 그래핀 전선은 상기 언급한 그래핀 파이버의 제조 방법에 기술된 내용을 모두 포함할 수 있으며, 편의상 중복 기재를 생략한다.
- [0030] 본원의 또 다른 측면에 따른 동축 케이블은 그래핀을 포함하는 코어(core) 전도체; 상기 코어 전도체를 둘러싸는 절연체; 상기 절연체를 둘러싸는 외부 전도체; 및, 상기 외부 전도체를 둘러싸는 외피부: 를 포함한다.
- [0031] 일 구현예에서, 상기 그래핀은 상기 언급한 본원의 그래핀 파이버 제조 방법에 의해 제조된 그래핀 파이버일 수

있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0032] 다른 구현예에서, 상기 코어 전도체는 금속 부재의 표면에 상기 그래핀이 형성된 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예시적 구현예에서, 상기 금속 부재는 금속판 또는 금속 와이어를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0033] 또 다른 구현예에서, 상기 금속 부재 상에 상기 그래핀을 형성하는 것은 화학기상증착법에 의해 수행되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0034] 또 다른 구현예에서, 상기 금속 부재를 형성하는 금속은 Ni, Co, Fe, Pt, Au, Al, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, Rh, Si, Ta, Ti, W, U, V, Zr, 황동(brass), 청동(bronze), 백동, 스테인레스 스틸(stainless steel) 및 Ge 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 금속 또는 합금을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0035] 또 다른 구현예에서, 상기 금속 부재 상에 상기 그래핀은 롤투롤 공정에 의하여 형성되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예시적 구현예에서, 상기 롤투롤 공정은 롤투롤 방식에 의하여 제 1 롤러로부터 띠(band) 또는 선(line) 형태의 상기 부재를 전처리부로 공급하여 표면처리하는 단계; 상기 전처리부를 통과한 상기 띠(band) 또는 선(line) 형태의 금속 부재를 합성부로 이동시켜 상기 금속 부재 상에 그래핀을 합성과 동시에 코팅하는 단계; 및 상기 합성부를 통과한 상기 띠(band) 또는 선(line) 형태의 금속 부재를 롤투롤 방식에 의하여 제 2 롤러에 감아 회수하는 단계: 를 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0036] 상기 동축 케이블은 상기 언급한 그래핀 파이버의 제조방법에 기술된 내용을 모두 포함할 수 있으며, 편의상 중복 기재를 생략한다.
- [0037] 이하, 도면을 참조하여 본원의 그래핀 파이버의 제조 방법, 이에 의해 형성되는 그래핀 파이버 및 이를 포함하는 동축케이블에 대해 구체적으로 설명하도록 한다. 그러나, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0038] 도 1은 금속층(120) 상에 화학기상증착법에 의해 선형 패턴의 그래핀 (140)이 형성되는 과정을 보여 주는 도면이다.
- [0039] 먼저, 기판(100) 상에 금속층을 형성한다. 여기서, 상기 기판(100)은 유리, 플라스틱, 또는 실리콘 기판일 수 있으나, 이에 제한되지는 않으며 화학기상증착법에 의해 금속층 또는 그래핀이 코팅될 수 있는 기판이라면 어떠한 것이라도 무방하다. 필요한 경우, 상기 금속층(120)의 코팅을 용이하게 하기 위해 상기 기판의 표면에 절연층(110)을 추가 포함할 수 있다. 상기 절연층(110)은 통상의 절연 물질을 코팅하여 형성할 수 있으며, 예컨대, 상기 기판(100)이 실리콘 기판인 경우에는 상기 절연층(110)은 산화실리콘(SiO₂) 층 일 수 있다.
- [0040] 상기 기판(100) 또는 상기 절연층(110) 상에 상기 금속층(120)을 형성하는 방법은, 당업계에서 금속층을 형성하는 방법으로 통상적으로 사용되는 것이라면 특별히 제한없이 사용가능하며, 예를 들어, 열증발장치(thermal evaporator), 전자빔증발장치(e-beam evaporator), 스퍼터링(sputtering) 또는 전기도금(electro-plating) 방법 등을 이용하여 상기 금속층(120)을 형성할 수 있다. 상기 금속층(120)은 실리콘, Ni, Co, Fe, Pt, Au, Al, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, Rh, Si, Ta, Ti, W, U, V, Zr, 황동(brass), 청동(bronze), 백동(white brass), 스테인레스 스틸(stainless steel) 및 Ge 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 금속 또는 합금을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지는 않는다.
- [0041] 이어서, 상기 금속층 상에 선형 패턴의 그래핀을 형성한다. 상기 금속층 상에 선형 패턴의 그래핀을 형성하는 방법은, 상기 금속층을 선형으로 패터닝하고 상기 선형 패턴의 금속층 상에 상기 그래핀을 성장시키는 방법에 의하거나, 상기 금속층 상에 상기 그래핀을 성장시키고 상기 그래핀을 선형으로 패터닝하는 방법에 의하여 형성될 수 있다.
- [0042] 하기에서는, 도 1에서와 같이 상기 금속층을 선형으로 패터닝하고 상기 선형 패턴의 금속층 상에 상기 그래핀을 성장시키는 방법에 대하여 기술하나, 이에 제한되지 않으며, 금속층 상에 상기 그래핀을 우선 성장시킨 후, 상기 성장된 그래핀을 패터닝 하여 상기 언급한 선형의 그래핀을 형성할 수 있다.
- [0043] 상기 금속층을 선형으로 패터닝 하는 방법은 당해 기술 분야에 공지된 다양한 방법이 이용될 수 있으며, 예를 들어, 전형적인 포토리소그래피(photolithography) 혹은 전자-빔 리소그래피(e-beam lithography)를 이용할 수 있다. 상기 선형 패턴의 금속층을 형성하는 비제한적인 구현예로, 상기 금속층(120) 상에 패터닝 된 포토 레지스트층(130)을 형성한 후 포토레지스트 공정을 통하여 상기 금속층을 패터닝한 후, 예칭에 의해 상기 패터닝 된

포토 레지스트층을 제거하는 공정에 의해 상기 금속층(120)을 복수의 선형 패턴 형태로 형성할 수 있다. 상기 패턴닝 공정 이후, 복수의 선형 패턴을 가지는 금속층(120)을 반응기에 넣고 가열하면서 수소 가스를 흘려주어 상기 패턴된 금속층 상의 산화층 및 불순물을 제거하는 공정을 추가로 수행할 수 있다.

[0044] 이어서, 상기 복수의 선형 패턴을 가지는 금속층(120) 상에 그래핀(140)을 성장시킨다. 기재 상에 그래핀을 형성하는 방법은 당업계에서 그래핀 성장을 위해 사용되는 방법이라면 제한없이 사용 가능하며, 예를 들어, 고온 화학기상증착(Rapid Thermal Chemical Vapour Deposition; RTCVD), 유도결합플라즈마 화학기상증착(Inductively Coupled Plasma-Chemical Vapor Deposition; ICP-CVD), 저압 화학기상증착(Low Pressure Chemical Vapor Deposition; LPCVD), 상압 화학기상증착(Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition; APCVD), 금속 유기화학기상증착(Metal Organic Chemical Vapor Deposition; MOCVD) 또는 플라즈마 화학기상증착(Plasma-enhanced chemical vapor deposition; PECVD)을 포함할 수 있으나, 이제 제한되는 것은 아니다.

[0045] 상기 그래핀을 성장시키는 공정은 상압, 저압 또는 진공 하에서 수행 가능하다. 예를 들어, 상압 조건 하에서 상기 공정을 수행하는 경우 헬륨(He) 등을 캐리어 가스로 사용함으로써 고온에서 무거운 아르곤(Ar)과의 충돌에 의해 야기되는 그래핀의 손상(damage)을 최소화시킬 수 있다. 또한 상압 조건 하에서 상기 공정을 수행하는 경우, 저비용으로 간단한 공정에 의하여 대면적 그래핀을 제조할 수 있는 이점이 있다. 또한, 상기 공정이 저압 또는 진공 조건에서 수행되는 경우, 수소(H₂)를 분위기 가스로 사용하며, 온도를 올리면서 처리하여 주면 금속 촉매의 산화된 표면을 환원시킴으로써 고품질의 그래핀을 합성할 수 있다.

[0046] 상기의 그래핀 성장 공정은 성장된 그래핀을 냉각시키는 공정을 포함한다. 다만, 상기 냉각 공정은 별도의 냉각 장치를 사용하여 상기 그래핀을 냉각시키는 경우 뿐만 아니라, 상기 그래핀을 상온에서 냉각시키는 경우도 포함한다. 이와 같은 냉각 공정을 통해 상기 선형 형태의 금속층(120)에 흡수된 충분한 양의 탄소가 상기 선형 형태의 금속층(120)으로부터 분리되어 표면으로 나오면서 결정화하며 그 양에 따라 다양한 두께의 선형 패턴의 그래핀(140)을 형성할 수 있다. 상기 선형 패턴의 그래핀(140)의 두께는 반응 시간, 금속층의 두께, 냉각 속도를 바꾸면서 조절할 수 있다.

[0047] 이어서, 상기 기판을 에칭 용액 내에 함침시켜 상기 금속층(120)을 선택적으로 제거함으로써 상기 복수의 선형 그래핀(140)을 상기 기판으로부터 분리하여 상기 에칭 용액 중에 분산시킬 수 있다. 상기 에칭 용액은 상기 금속층을 선택적으로 제거하거나 상기 그래핀으로부터 상기 금속층을 분리시킬 수 있는 용액으로서 당업계에서 통상적으로 사용되는 것이라면 특별히 제한없이 사용가능하다. 상기 에칭 용액의 비제한적인 예로써, 상기 에칭 용액은 다양한 산, 암모늄 퍼셀레이트[(NH₄)₂S₂O₈], BOE, Fe(NO₃)₃, 염화철(Iron(III) Chloride, FeCl₃) 또는, CuCl₂ 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 화합물을 포함하는 수용액과 유기 용매를 포함하는 것일 수 있다.

[0048] 상기 에칭 용액은 상기 에칭 용액의 소수성 정도를 조절하기 위하여 상기 에칭 용액 중의 유기 용매의 양을 조절할 수 있다. 상기 에칭 용액으로서 보통의 물만을 용매로 사용한 경우는 그래핀의 소수성(hydrophobicity) 때문에 상기 그래핀이 용액 표면으로 떠오르면서 그래핀이 파이버 구조보다는 필름 구조가 우세하게 된다. 그러나 상기 에칭 용액에 알코올, 아세톤 등과 같이 물과 혼합될 수 있는 유기 용매를 첨가함으로써 상기 에칭 용액의 소수성(hydrophobicity)을 증가시킬 수 있으며, 이로 인해 상기 형성된 그래핀이 용액 표면으로 부유되지 않고 용액 중에 파이버 형태로 분산될 수 있다. 예를 들어, 상기 유기 용매가 상기 에칭 용액 내에 20% 이상 될 경우 복수의 선형 그래핀은 표면에 떠오르지 않고 상기 에칭 용액 중에 분산된 형태를 보일 수 있다. 일 구현예에 있어서, 상기 에칭 용액으로서 0.5 M FeCl₃ 수용액 및 에틸알코올이 1: 1로 혼합된 에칭 용액을 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0049] 상기 에칭에 의해 상기 선형 금속층(120)으로부터 분리되어 상기 에칭 용액 중에 분산된 복수개의 선형 그래핀(140)은 상기 에칭 용액의 계면 상에서 자기조립현상에 의하여 파이버 형태로 조립된다. 보다 구체적으로, 상기 에칭 용액 중에 분산되어 있는 상기 복수의 선형 그래핀(140)의 일부 영역을 상기 에칭 용액 외부로 끌어당기면, 상기 복수의 선형 그래핀은 상기 용액의 표면 장력 및 상기 그래핀의 소수성으로 인해 가느다란 실 형태로 변하게 되며, 이와 같은 방법에 의해 그래핀 파이버를 수득할 수 있다. 상기 그래핀 파이버의 형성 과정은 도 2에서와 같은 장치를 사용하여 연속적으로 수행할 수 있으며, 상기 그래핀 파이버의 직경은 패턴닝 된 선형 그래핀의 선포에 따라 변화시킬 수 있다. 도 2를 참조하면, 상기 그래핀 파이버의 방사는 상기 분산된 복수의 선형 그래핀을 상기 에칭 용액 외부로 끌어 당기기와 동시에 회전시켜 꼬아주는 것일 수 있으며, 이러한 과정에 모터를 사용할 수 있다. 도 3은 본원의 일 실시예에 따라 제조된 그래핀 파이버를 사용하여 직조된 섬유를 보여

주는 직물을 보여 준다.

[0050] 도 4 및 도 5는 본원의 일 실시예에 따라 다양한 방법에 의해 형성된 그래핀 파이버 단면의 전자현미경 사진(도 4) 및 선형 그래핀의 선폭에 따른 파이버의 직경을 보여 주는 그래프(도 5)이다. 보다 구체적으로, 도 4의 상단에 있는 사진은 상기 복수의 선형 그래핀을 회전시켜 꼬아주는 과정 없이 상기 에칭 용액 외부로 당겨 제조한 파이버(선형 그래핀의 선폭은 각각 3 mm, 5 mm)이고, 하단에 있는 사진은 도 2에서와 같이 모터를 이용하여 상기 복수의 선형 그래핀을 회전시켜 꼬아줌과 동시에 상기 에칭 용액 외부로 끌어 당겨 제조한 그래핀 파이버(선형 그래핀의 선폭은 각각 3 mm, 5 mm)에 대한 것이다. 도 5를 참조하면, 도 4에서와 같이 상기 선형 그래핀을 회전시켜 꼬아줌과 동시에 상기 에칭 용액 외부로 끌어 당겨 제조한 그래핀 파이버(도 4의 하측 도면)의 직경이 상기 꼬아주는 과정 없이 형성된 그래핀 파이버(도 4의 상측 도면)의 직경보다 커지는 것을 알 수 있었다.

[0051] 상기 그래핀 파이버는 그 자체로서 전선으로 사용될 수 있으나, 실제 전기 소자 등에 사용되는 경우에는 상기 그래핀 파이버 외에도 상기 그래핀 파이버 상에 절연체를 형성하여 사용될 수 있다. 이 경우, 상기 절연체는 에나멜, 포토 레지스트 수지, 폴리올레핀, 페놀수지, PMMA, PET, PVA, PI 및 이들의 조합으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지는 않는다.

[0052] 도 6은 상기 언급한 방법에 의해 형성되는 그래핀 파이버 및 그래핀 전선의 다양한 형태를 보여준다. 도 6에서와 같이, 상기 그래핀 파이버는 그래핀 파이버만으로 존재하거나(도 6a), 절연성 물질을 포함하는 코어 상에 감겨져 있는 형태(도 6b)일 수 있다. 또한, 그래핀 전선 역시 도 6c에서와 같이 그래핀 파이버 및 상기 그래핀 파이버를 둘러 감싸는 절연체만으로 존재할 수 있으나, 도 6d에서와 같이 상기 그래핀 파이버가 절연성 물질을 포함하는 코어를 둘러싸는 형태일 수 있다.

[0053] 상기 그래핀 파이버 내지 상기 절연체를 포함하는 그래핀 전선은 기존의 금속 전선에 비해 단위 무게당 최고 3배 이상 개선된 전도도를 보여줄 뿐만 아니라, 금속 전선에 비해 매우 유연하고 가벼우므로 경량 전선을 필요로 하는 이동식 동력장치 등 다양한 분야에 적용이 가능하다. 예를 들어, 도 7은 본원의 일 실시예에 따라 제조된 그래핀 전선의 기계적 강도를 보여 주는 그래프로서, 도 7을 참조하면, 알루미늄 전선의 강도가 70 GPa인데 비해 그래핀 전선은 51 GPa를 나타내었다. 또한, 구리를 주로 사용하는 금속 전선의 경우 "표면 효과(skin effect)"라는 현상 때문에 고주파로 갈수록 저항이 증가하여 신호 전달 효율이 저하되는데 상기 그래핀 파이버 및 상기 그래핀 전선은 이와 달리 고주파에서도 신호 전달 효율이 떨어지지 않는다. 더 나아가, 이와 같은 그래핀의 뛰어난 전기전도성은 우수한 열전도성까지 유발시켜 탁월한 열방출 특성을 가지며, 이에 따라 열 발생에 의한 전력 손실을 최소화하여 전력 수송 효율 및 용량을 극대화할 수 있다.

[0054] 하기 표 1은 그래핀 전선의 전기 전도도를 다른 물질로 이루어진 전선과 비교 분석한 표이다.

표 1

	Resistivity(Ohm*m)	Conductivity(S/m)	Density(g/cc)	Conductivity/Density
Silver	1.590×10^{-8}	6.29×10^7	10.5	5.99×10^6
Copper	1.720×10^{-8}	5.81×10^7	9	6.46×10^6
Gold	2.440×10^{-8}	4.10×10^7	19.3	2.12×10^6
Aluminum	2.820×10^{-8}	3.55×10^7	2.7	1.31×10^6
CNT 파이버	3.333×10^{-8}	3.00×10^7	2.0	1.50×10^6
그래핀	5.800×10^{-8}	1.72×10^7	2.1	8.21×10^6

[0055]

[0056] 보다 구체적으로 표 1을 참조하면, 밀도를 고려할 경우 은이나 구리 전선보다 그래핀 전선이 우수한 전도도를 보여 주는 것을 확인할 수 있다. 예컨대, 그래핀 파이버의 전기적 기계적 특성을 분석한 결과 기계적 강도는 알루미늄과 비슷하고 전도도는 밀도를 고려할 경우 은보다도 뛰어난 것으로 측정되었다(도6 및 표 1 참조). 이

러한 특성은 향후 합성 과정의 최적화를 통해 더욱 개선될 수 있으며, 예를 들어, 전도성 고분자, 유기 화합물과의 복합체 형성을 통해 기계/전기적 성질을 개선하거나 화학적 도핑을 통해 전도도를 향상시킬 수 있다. 예를 들어, 도 8은 구리만으로 형성된 구리 전선과 구리-그래핀 복합 전선의 전기 전도도를 비교한 결과이다. 도 8에서와 같이 구리-그래핀 복합 전선을 제조한 경우 구리 전선만으로 형성된 구리 전선에 비하여 약 3배의 전도도 효과가 개선되었음을 알 수 있었다.

[0057] 본원의 동축 케이블은, 그래핀을 포함하는 코어(core) 전도체; 상기 코어 전도체를 둘러싸는 절연체; 상기 절연체를 둘러싸는 외부 전도체; 및 상기 외부 전도체를 둘러싸는 외피부: 를 포함한다. 여기서, 상기 그래핀은 전술한 방법에 의해 제조된 그래핀 파이버만으로 형성될 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0058] 상기 코어 전도체는 그래핀만으로 형성되거나, 상기 그래핀 상에 절연체가 형성되어 있는 형태일 수 있으나, 이에 제한되지 않으며, 예를 들어, 상기 코어 전도체는 금속 부재의 표면 상에 직접 그래핀을 형성함으로써 제조할 수 있다. 이와 같이 금속 부재 표면에 그래핀을 직접적으로 형성하여 동축 케이블을 제조한 경우, 상기 그래핀이 상기 금속 부재에 대한 산화방지막 역할도 동시에 할 수 있어, 상기 동축 케이블의 인터랙트 접촉 특성 및 수명을 크게 향상시킬 수 있으며, 예칭 및 가공과 같은 별도의 공정이 필요가 없다. 상기 금속 부재의 형태는 당업계에서 통상적으로 동축케이블의 코어를 형성할 수 있는 형태라면 특별히 제한없이 사용가능하며, 그 형태는 금속관 또는 금속 와이어일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0059] 상기 금속 부재 상에 상기 그래핀을 형성하는 방법으로 화학기상증착법을 사용할 수 있다. 상기 화학기상증착법을 이용하여 그래핀을 형성하는 비제한적인 구현예로써, 금속 와이어를 촉매 기관으로 하여 캐리어 가스와 함께 탄소 소스 및 열을 제공하여 반응시킨 후, 상기 금속 와이어를 냉각하여 이의 표면 상에 그래핀을 형성하는 것일 수 있다. 여기서, 상기 금속 와이어는 Ni, Co, Fe, Pt, Au, Al, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, Rh, Si, Ta, Ti, W, U, V, Zr, 황동(brass), 청동(bronze), 백동, 스테인레스 스틸(stainless steel) 및 Ge 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 금속 또는 합금을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지는 않는다. 이와 같이 그래핀-금속의 복합체를 코어 전도체로 포함하는 동축 케이블은 단순히 그래핀만으로 코어 전도체를 형성하는 경우에 비하여 전기 전도도가 향상될 수 있으며, 이는 상기 언급한 도 8의 그래프를 통하여 확인할 수 있다.

[0060] 도 9는 금속 부재 상에 그래핀을 직접 형성하기 위한 그래핀 롤투롤 코팅 장치의 개념도이다. 상기와 같은 코팅 장치를 사용하면, 상압 또는 저압 기반의 화학기상증착을 연속적으로 수행하여 금속 부재의 표면에 양질의 그래핀을 대량 및 저비용으로 코팅할 수 있다. 상기 그래핀 롤투롤 코팅 장치를 사용하여 금속 부재 상에 그래핀을 형성하는 경우, 상기 금속 부재는 띠(band) 또는 선(line) 형태인 것을 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0061] 상기 롤투롤 코팅 장치는 금속선 또는 금속띠를 롤투롤 방식으로 공급하기 위한 제 1 롤러(250); 상기 제 1 롤러를 통해 공급된 금속부재의 표면 처리를 위한 전처리부(400); 상기 전처리된 금속부재의 표면에 그래핀을 합성과 동시에 코팅하기 위한 그래핀 합성부(500); 및 상기 그래핀 합성부를 통과한 그래핀이 코팅된 금속부재를 롤투롤 방식으로 회수하기 위한 제 2 롤러(300): 를 포함할 수 있다. 또한 상기 롤투롤 코팅 장치는 금속선이 감겨 있는 롤러들의 구동 방향과 관계없이 가스를 안정적으로 공급할 수 있는 가스 도입부를 구비하는 롤러를 포함할 수 있다.

[0062] 상기 그래핀의 합성과 코팅은 그래핀 합성부 내의 가스 노즐(510)을 통하여 탄소 소스를 포함하는 반응 가스가 주입되어, 상기 그래핀 합성부에서 상기 금속선 또는 상기 금속띠 표면에 화학기상증착법에 의하여 그래핀이 합성되어 코팅될 수 있다. 필요한 경우, 상기 금속 부재가 고온에서 변형이 심한 문제점을 보완하기 위해 상기 롤투롤 장치를 수직 또는 수평으로 배치하여 휨 현상 및 열의 구배를 안정적으로 유지시킬 수 있다.

[0063] 이와 같은 방법에 의해 제조된 코어 전도체를 포함하는 동축 케이블은 상기 언급한 그래핀 전선과 동일한 전기적 특성을 가진다. 즉, 상기 동축 케이블은 내화학/내부식 특성이 탁월하고, 전기 저항이 개선되며, 고주파 신호 전달 특성이 뛰어난 뿐만 아니라, 발열(방열) 특성이 향상될 수 있다.

[0064] 이하, 실시예를 이용하여 본원에 대하여 구체적으로 설명하지만, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.

실시예 1

[0065] **1. 니켈(Ni) 박막 상에 대면적 그래핀의 성장**

[0066] 실리콘 기판 상에 SiO₂ 절연층을 형성하고, 상기 절연층 상에 니켈 박막을 증착하였다. 포토레지스트를 이용한 리소그래피 공정을 통하여 상기 니켈 박막을 복수의 선형 패턴으로 형성하였고, 선형 패턴의 선폭이 1, 2, 3, 4, 5 mm 인 경우를 각각 제조하였다. 이어서, 상기 니켈 박막이 형성된 기판을 반응 챔버 내에 도입하고, 180 mTorr에서 10 sccm H₂ 를 흘려주면서 상기 기판을 1,000℃로 가열하였다. 상기 기판의 온도가 1,000℃에 도달한 후, 상기 수소 흐름 및 압력을 유지하면서 30 분 동안 어닐링하였다. 이어서, 탄소 소스를 포함하는 가스 혼합물(CH₄: H₂ = 30 : 10 sccm)을 1.6 Torr에서 15 분 동안 공급하여 그래핀을 상기 선형 패턴의 니켈 박막 상에 성장시킨 후 180 mTorr 압력 하에서 H₂를 흘려주면서 단시간에 ~10℃/s의 속도로 실온으로 냉각함으로써, 상기 선형 패턴의 니켈 박막 상에 성장된 선형 패턴의 그래핀을 수득하였다.

[0067]

[0068] **2. 그래핀 파이버의 제조**

[0069] 위의 공정을 따라 제조된 선형 패턴의 그래핀이 형성된 기판을 0.5 M FeCl₃ 수용액 및 에틸알코올이 1: 1의 부피비로 혼합된 에칭 용액 내에 함침시켜, 상기 니켈 박막을 선택적으로 제거함으로써 복수의 선형 그래핀을 상기 에칭 용액 중에 분산시켰다. 이후, 핀셋을 사용하여 선형 그래핀의 일부 영역을 집어 이를 상기 에칭 용액의 외부로 끌어당김으로써 그래핀 파이버를 제조하였다 (도 2 및 도 3 참조).

[0070] 도 4를 참조하면, 본 실시예에 따라 제조된 파이버 형태의 그래핀 전선의 전자현미경 사진을 확인할 수 있다.

[0071] 이상, 실시예를 들어 본원을 상세하게 설명하였으나, 본원은 상기 실시예들에 한정되지 않으며, 여러 가지 다양한 형태로 변형될 수 있으며, 본원의 기술적 사상 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러 가지 많은 변형이 가능함이 명백하다.

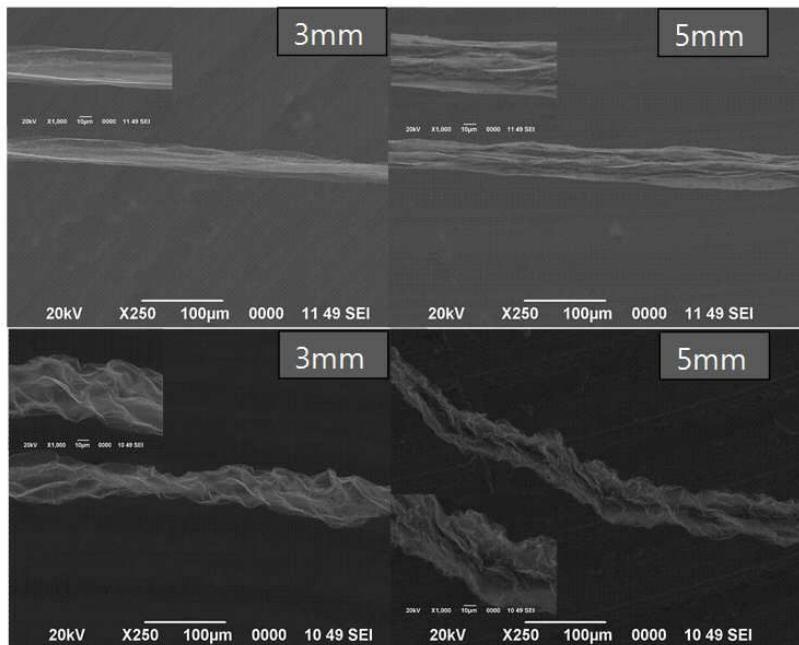
부호의 설명

- [0072] 10 : 제 1 가스 도입부
- 20 : 제 2 가스 도입부
- 30 : 제 3 가스 도입부
- 40 : 제 1 가스 배출부
- 50 : 제 4 가스 도입부
- 60 : 제 2 가스 배출부
- 100 : 기판
- 110 : 절연층
- 120 : 금속층 또는 선형 패턴의 금속층
- 130 : 포토 레지스트층
- 140 : 선형 패턴의 그래핀
- 150 : 금속 부재
- 200 : 냉각 자켓
- 210 : 가열 자켓
- 250 : 제 1 롤러
- 300 : 제 2 롤러

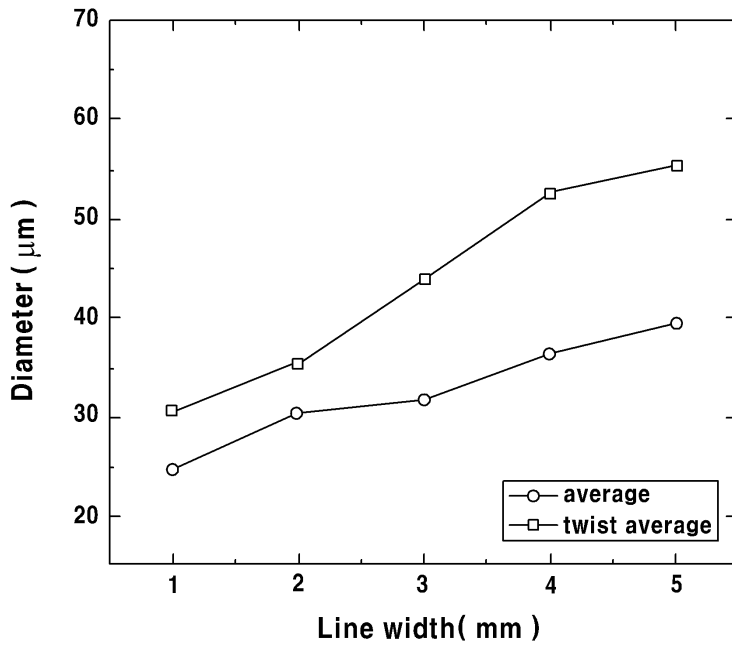
도면3



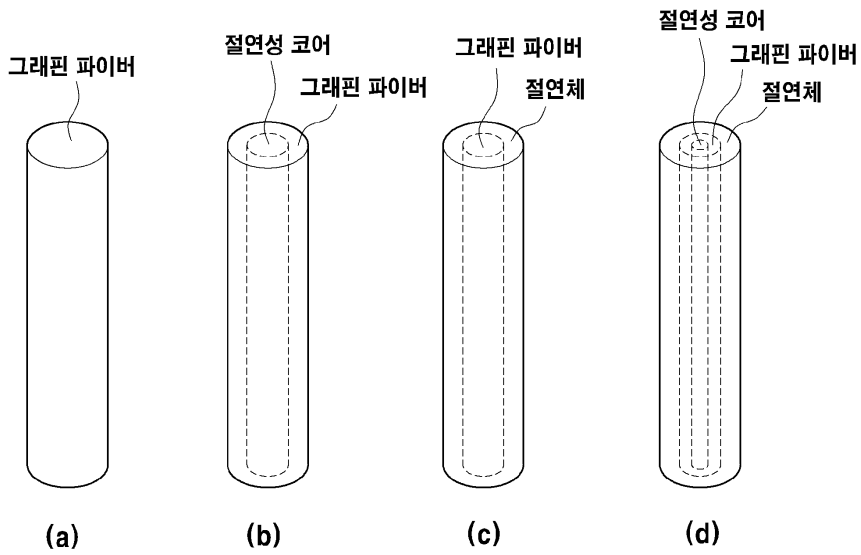
도면4



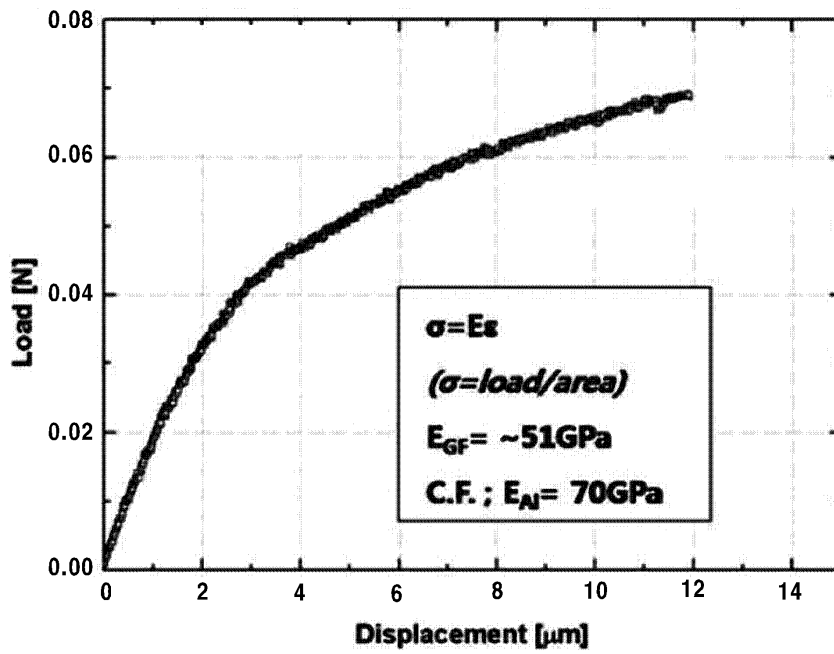
도면5



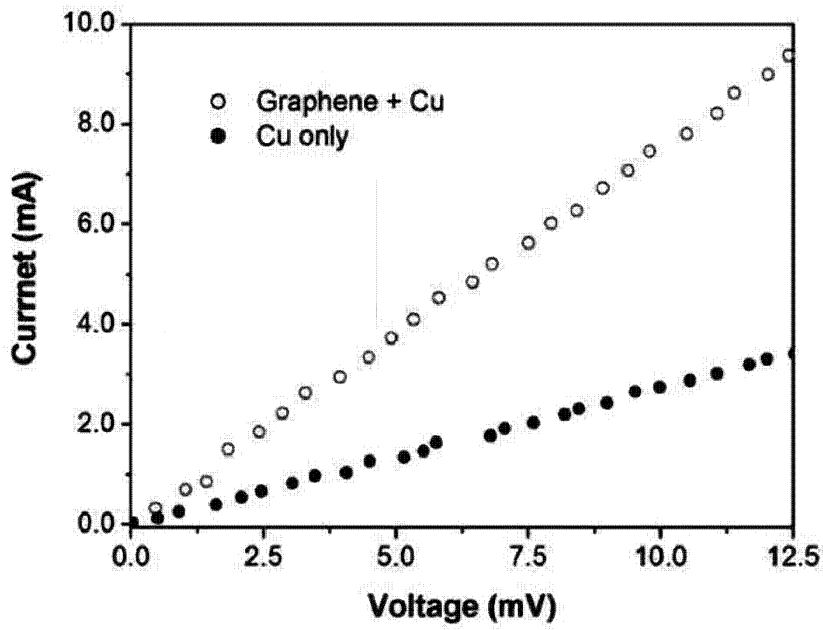
도면6



도면7



도면8



도면9

